



بررسی مقدار ذخیره کربن تنه و رویش حجمی گونه شالک (*Populus nigra L.*) در استان آذربایجان غربی

مجید پاتو^{۱*}، پیمان حامدی قاضی^۲ و سهراب مرادی^۳

^۱استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.

^۲دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

^۳استادیار گروه توسعه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱)

چکیده

مقدمه: بوم‌سازگان‌های جنگلی، تأثیر مهمی در چرخه جهانی کربن دارند. گاز دی‌اکسید کربن در طول فصل رویش، توسط پوشش گیاهی جذب و به‌صورت زی‌توده در گیاهان ذخیره می‌شود. درختان از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین مخازن کربن در بوم‌سازگان‌های طبیعی هستند و در کاهش انتشار کربن اتمسفری بسیار مؤثرند. تعیین مقدار زی‌توده درختان، در مدیریت پایدار منابع طبیعی بسیار اهمیت دارد و سهم جنگل و جنگلکاری‌ها را نیز در چرخه جهانی کربن مشخص می‌کند. در پژوهش حاضر سعی شد مقدار ترسیب کربن تنه و همچنین رویش حجمی سالانه در صنوبرکاری‌های شش شهرستان استان آذربایجان غربی بررسی شود.

مواد و روش‌ها: این بررسی در شش شهرستان صنوبرخیز استان آذربایجان غربی شامل ارومیه، میاندوآب، شاهین‌دژ، نقده، خوی و سلماس که مستعد زراعت چوب هستند انجام گرفت. توده‌های صنوبرکاری با کاشت متراکم (۱×۲) و به‌نسبت هم‌سن (۸ تا ۱۰ سال)، در مناطق تحت پژوهش انتخاب شد و متغیرهای کمی قطر در ارتفاع برابر سینه و ارتفاع کل نه درخت به‌صورت گروهی در قسمت‌های ابتدایی، میانی و انتهایی (۲۷ اصله در هر توده و در مجموع ۱۶۲ اصله) اندازه‌گیری و حجم تک‌درخت به متر مکعب محاسبه شد. سپس در هر شهرستان، از هر توده در هنگام قطع، شش نمونه دیسک از درختان طبقه قطری ۲۰ سانتی‌متر به بالا برای آزمایش و بررسی انتخاب شد. دیسک‌های تهیه و جدا شده، به‌صورت قطعات مکعبی با ابعاد ۳×۳×۳ سانتی‌متر برش داده شدند. نمونه‌ها ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا خشک شوند و وزن خشک آنها محاسبه شد؛ سپس در کوره با حرارت ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و خاکستر حاصل دوباره توزین شد. رویش حجمی سالانه نیز با محاسبه دقیق حجم و تعداد سال‌های کاشت به دست آمد.

یافته‌ها: براساس نتایج، توده صنوبرکاری شده موجود در شهرستان شاهین‌دژ با میانگین ۳/۲۹ تن در هکتار بیشترین مقدار ترسیب کربن تنه را داشت. از نظر رویش نیز توده‌های موجود در ارومیه و شاهین‌دژ به‌ترتیب با ۲/۸۴ و ۲/۸۳ متر مکعب در هکتار بیشترین میانگین مقدار رویش را داشتند. بررسی آزمون تجزیه واریانس یکطرفه نشان داد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین میانگین مقدار ترسیب کربن تنه و رویش در توده‌های صنوبرکاری شده موجود در شهرستان‌های مختلف اختلاف معنی‌دار وجود دارد. مقایسه توده‌های شهرستان‌های مختلف براساس آزمون توکی نیز نشان داد که در ترسیب کربن تنه تنها بین توده شاهین‌دژ با توده‌های سلماس و خوی در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در رابطه با مقدار رویش، بین توده‌های صنوبرکاری شده شهرستان‌های ارومیه و شاهین‌دژ با توده‌های سلماس، نقده و میاندوآب اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: به‌دلیل تراکم کاشت مشابه، همسال بودن توده‌ها و نیز اقلیم به‌نسبت مشابه در توده‌های بررسی شده در پژوهش، در بیشتر توده‌ها اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار ترسیب کربن تنه و رویش حجمی مشاهده نشد. اندک تفاوت معنی‌دار مشاهده شده نیز ممکن است به‌دلیل نحوه مدیریت و تا حدی شرایط خاک باشد. در این زمینه توصیه می‌شود سیاستگذاران با تمرکز بر مناطقی چون شاهین‌دژ و ارومیه که قابلیت بیشتری در ترسیب کربن تنه و رویش دارند، طرح‌های توسعه صنوبرکاری را در اولویت قرار دهند.

واژه‌های کلیدی: ارومیه، ترسیب کربن، صنوبرکاری، مقدار رویش.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی سده بیست‌ویکم بوده‌اند. ریشه اصلی این تغییرات، افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر است که اغلب به دلیل مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی، رشد شهرنشینی و توسعه کشاورزی صنعتی رخ داده است. یکی از اقدامات مهم و حیاتی برای مقابله با این بحران، افزایش ظرفیت ترسیب کربن در اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه جنگل‌ها و جنگلکاری‌هاست (Abedi et al., 2022). براساس پژوهش‌ها، جنگل‌های جهان بیش از ۱۰۸۸ میلیارد تن کربن را در زی‌توده زنده و مرده، خاک و لاشبرگ خود ذخیره کرده‌اند (Pan et al., 2011). این ظرفیت چشمگیر سبب شده است که گسترش پوشش جنگلی و توسعه جنگلکاری‌ها به‌ویژه در اراضی کم‌بازده و مستعد، از سیاست‌های اصلی در مقابله با تغییر اقلیم در جهان باشد (Assmuth & Tahvonon, 2018). در این زمینه، گونه‌های درختی تندرشد که می‌توانند در زمان کمتری زی‌توده بیشتری تولید کنند اهمیت زیادی یافته‌اند.

یکی از موفق‌ترین و پرکاربردترین گونه‌های تندرشد در جنگلکاری‌ها، جنس صنوبر (*Populus* spp.) است. در ایران چهار گونه از جنس صنوبر شامل گونه تبریزی (*Populus nigra* L.) با دو رقم تبریزی و شالک، گونه کبوده یا سپیدار (*P. alba* L.) با دو رقم کبوده بومی و شیرازی، گونه صنوبر سفیدپلت (*P. caspica* (Bornm.) Bornm.) و گونه پده (*P. euphratica* Olivier.) وجود دارد (Yousefi & Kalagari, 2021). صنوبرها به‌سبب ویژگی‌های بسیار ممتاز، همواره در میان تولیدکنندگان چوب جایگاه ویژه‌ای داشته‌اند (Abbasi et al., 2024). ایران نیز با عرصه وسیع و برخورداری از شرایط متنوع آب‌وهوایی، یکی از رویشگاه‌های مهم درختان صنوبر به‌شمار می‌آید (Alavi et al., 2025). گونه‌های مختلف صنوبر به‌دلیل ویژگی‌هایی چون رشد سریع، سازگاری با

شرایط محیطی مختلف، نیاز آبی به‌نسبت کم، بازده زیاد در تولید چوب، سهولت کاشت و تکثیر و نیز قابلیت مدیریت آسان، در بسیاری از کشورها کاربرد یافته‌اند (Rescalvo et al., 2021). افزون‌بر موارد ذکرشده، صنوبرکاری‌ها مزایای اکولوژیکی (مانند ترسیب کربن و بهبود کیفیت خاک) و اقتصادی (تولید چوب مناسب برای اهداف مختلفی مانند تولید کاغذ، ساخت‌وساز و سوخت‌های زیستی) نیز دارند که سبب شده جزء مهمی از شیوه‌های جنگلداری پایدار باشند (Zhu et al., 2019). از میان قسمت‌های مختلف درخت صنوبر، تنه به‌دلیل حجم زیاد زی‌توده، بیشترین مقدار ترسیب کربن (۷۰-۵۵ درصد کل کربن زی‌توده) را دارد (Arora et al., 2014).

پژوهش‌های زیادی در جهان درباره توانایی ترسیب کربن تنه صنوبر انجام گرفته است. Meifang et al. (2017) ترسیب کربن در گونه‌های مختلف صنوبر در سیستم‌های جنگلکاری کوتاه‌چرخه در چین را ارزیابی کردند. این پژوهش نشان داد که تنه به‌دلیل حجم زیاد زی‌توده، اصلی‌ترین مخزن کربن است. Yao et al. (2023) پویایی کربن در جنگلکاری‌های صنوبر در مناطق معتدل چین را بررسی کردند. این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی و اندازه‌گیری‌های میدانی نشان داد که تنه در توده‌های ۱۰ تا ۱۵ ساله تا ۳۵ تن کربن در هکتار ذخیره می‌کند که ۶۵-۵۵ درصد از کل کربن زی‌توده را تشکیل می‌دهد. Fortier et al. (2017) ترسیب کربن گونه‌های صنوبر در سیستم‌های جنگلکاری پربازده را تحلیل کردند. نتایج نشان داد که گونه‌های هیبرید به‌دلیل رشد سریع‌تر، قابلیت بیشتری برای ذخیره کربن دارند و در توده‌های ۱۲ساله، تنه درختان صنوبر حدود ۳۲-۲۸ تن کربن در هکتار ذخیره می‌کند. اثرهای بلندمدت جنگلکاری صنوبر بر ترسیب کربن در مناطق نیمه‌خشک توسط Chavan et al. (2023) بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که حتی در شرایط محیطی چالش‌برانگیز، تنه می‌تواند ۲۵-۲۰ تن کربن در هکتار در دوره‌های ده‌ساله ذخیره

کند. مدیریت آبیاری و کوددهی عوامل مهم در افزایش زی‌توده تنه و ترسیب کربن شناسایی شدند.

در ایران به دلیل ممنوعیت برداشت از جنگل‌های شمال، نیاز به چوب صنعتی و محدودیت واردات، توجه به توسعه زراعت چوب با صنوبر به‌ویژه در مناطق غیرشمالی افزایش یافته است. در گذشته تمرکز بیشتر بر استان‌های شمالی (گیلان، مازندران و گلستان بود)، اما در دهه اخیر استان‌هایی مانند آذربایجان غربی، کردستان و زنجان به مناطق هدف توسعه صنوبرکاری افزوده شده‌اند (Hosein zadeh, 2015). با این حال، بیشتر پژوهش‌ها همچنان محدود به اقلیم مرطوب شمال کشور است. یکی از پژوهش‌ها در این زمینه، تحقیق (Abedi et al., 2024) در استان گیلان است که مقدار ترسیب کربن در تنه درختان صنوبر را ۵۲-۱۶ تن در هکتار در سال برآورد کرده‌اند. این در حالی است که تا کنون پژوهشی جامع در مناطق نیمه‌خشک کشور مانند استان آذربایجان غربی با استفاده از روش‌های کمی و داده‌های حجمی واقعی برای ارزیابی عملکرد ترسیب کربن در صنوبرکاری‌ها منتشر نشده است. این خلأ اطلاعاتی، نه تنها از منظر علمی شایان تأمل است، بلکه از نظر کاربردی نیز مانع برنامه‌ریزی اصولی و علمی برای توسعه پایدار جنگلکاری‌ها در این مناطق می‌شود.

استان آذربایجان غربی با برخورداری از شرایط خاص توپوگرافی، منابع آبی داخلی و اقلیم نیمه‌خشک و کوهستانی، از استان‌های دارای تنوع اکولوژیکی زیاد است. شهرستان‌هایی مانند میاندوآب، شاهین‌دژ، ارومیه، نقده، سلماس و خوی، از مهم‌ترین مراکز صنوبرکاری در این استان به شمار می‌روند. این استان با دارا بودن ۳۲۳۷ هکتار سطح زیر کشت صنوبر در کشور پس از استان‌های گیلان و آذربایجان شرقی دارای رتبه سوم است (Mirakhorlou, 2020). با این حال، بیشتر صنوبرکاری‌ها در این مناطق بدون بهره‌گیری از اصول علمی و بدون پایش‌های منظم و اطلاعات کمی قابل استناد درباره زی‌توده و ترسیب

کربن انجام می‌گیرند. افزون‌بر این، در بسیاری از پژوهش‌های داخلی، تمرکز بر برآورد کلی زی‌توده کل درخت بوده و سهم اندام‌های مختلف به‌صورت مجزا ارزیابی نشده است. در حالی که بخش تنه درخت که در درختان چوبی به‌طور معمول ۶۰ تا ۸۰ درصد زی‌توده هوایی را تشکیل می‌دهد، مهم‌ترین مخزن کربن محسوب می‌شود و ارزیابی دقیق آن می‌تواند شاخصی مناسب برای تحلیل کارایی اکولوژیکی رویشگاه‌ها باشد (Adams et al., 2018). از طرفی، تعیین دقیق کربن ذخیره‌شده در بخش تنه، به‌ویژه در مناطق فاقد آماربرداری، می‌تواند مبنای طراحی مدل‌های پیش‌بینی و اقتصادی برای طرح‌های جنگلکاری باشد.

مورد مهم دیگر که در این پژوهش به آن پرداخته می‌شود، بحث اندازه‌گیری رویش حجمی سالانه گونه شالک (*Populus nigra*) در استان آذربایجان غربی است. اندازه‌گیری رویش حجمی سالانه در صنوبرکاری‌ها به دلیل تأثیر آن در ارزیابی بهره‌وری چوب، مدیریت پایدار جنگلکاری و برنامه‌ریزی اقتصادی، از اهمیت زیادی برخوردار است. این شاخص امکان مقایسه عملکرد گونه‌های مختلف و بهینه‌سازی سیستم‌های کاشت را فراهم می‌کند. درباره اهمیت این موضوع در پژوهش‌های بین‌المللی، (Sperandio et al., 2021) بهره‌وری صنوبر را در سیستم‌های کوتاه چرخه ایتالیا بررسی کرده و گزارش کردند که رویش در توده‌های شش‌ساله بین ۱۸ تا ۲۶ متر مکعب در هکتار در سال است. (Toillon et al., 2013) اثر تراکم کاشت بر رشد *Populus nigra* را ارزیابی کرده و رویش را در توده‌های ۷-۵ ساله حدود ۲۰-۲۸ متر مکعب در هکتار در سال گزارش کردند که به خاک‌های غنی و مدیریت بهینه نسبت داده شد. (Di Matteo et al., 2012) در پژوهشی در اروپا، قابلیت تولید حجم *Populus nigra* را در شرایط اقلیمی معتدل تحلیل کردند و نشان دادند که مقدار رویش در چرخه‌های کوتاه‌مدت تا ۸/۴ متر مکعب در هکتار در سال می‌رسد.

زیر کشت زراعت چوب و نوع کشت، شناسایی و موقعیت جغرافیایی این مناطق با دستگاه موقعیت‌یاب (GPS) روی نقشه استان مشخص شد. حداقل مساحت عرصه در توده‌ها براساس روش Baker et al. (2004) مبتنی بر فراوانی مساحت‌ها، ۳۰۰۰ مترمربع تعیین شد. در صورت فراوانی نسبی عرصه‌های کوچک‌تر زراعت چوب، می‌توان حداقل سطح را براساس روش (Imbert & Lefevre, 2003) کاهش داد. مشخصات کلی همه عرصه‌های شناسایی شده که جامعه آماری در نظر گرفته شد شامل مختصات، نام محل و مساحت تقریبی بود. توده‌های صنوبرکاری با کاشت متراکم (۱×۲) و به نسبت هم‌سن (۸ تا ۱۰ سال) در مناطق تحت بررسی انتخاب و متغیرهای کمی قطر در ارتفاع برابر سینه و ارتفاع کل تعداد نه درخت به صورت گروهی در قسمت‌های ابتدایی، میانی و انتهایی (۲۷ اصله در هر توده و در مجموع ۱۶۲ اصله) اندازه‌گیری و حجم تک‌درخت به متر مکعب محاسبه شد. سپس در هر شهرستان از هر توده در هنگام قطع، شش نمونه دیسک از درختان طبقه قطری ۲۰ سانتی‌متر به بالا برای آزمایش و بررسی انتخاب شد. دیسک‌های تهیه و جدا شده، به صورت قطعات مکعبی با ابعاد ۳×۳×۳ سانتی‌متری برش داده شده و طول، عرض و ارتفاع مکعب‌ها با کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت گذاشته شدند تا خشک شوند و وزن خشک آنها محاسبه شد. سپس نمونه‌ها در کوره با حرارت ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و خاکستر حاصل دوباره توزین شد. بدین ترتیب مقدار کربن موجود و سپس نسبت کربن به زی‌توده با دقت مناسبی محاسبه شد (Vahedi, 2014; Henry et al., 2001).

برای محاسبه مقدار ترسیب کربن در این پژوهش مراحل زیر انجام گرفت:

۱. برداشت و جداسازی تنه

ابتدا درختان صنوبر از نزدیکی سطح زمین قطع

در ایران، (Latify et al. (2018) اثر فاصله کاشت و نوع خاک را بر تولید حجم گونه شالک در دیواندره (کردستان) بررسی کردند و رویش را در توده‌های هفت‌ساله بین ۱۸ تا ۴۰ متر مکعب در هکتار در سال گزارش کردند. (Salehi & Shariat (2024) اثر آبیاری با پساب را بر رشد *Populus nigra* ارزیابی کردند و نشان دادند که رویش در توده‌های هشت‌ماهه تا ۲۲ متر مکعب در هکتار در سال افزایش یافت. با توجه به پژوهش‌های گذشته می‌توان گفت اندازه‌گیری رویش برای بهینه‌سازی تولید چوب و مدیریت پایدار جنگلکاری‌ها حیاتی است و پژوهش‌های پیشین بر ضرورت انتخاب شرایط بهینه برای افزایش بهره‌وری این گونه تأکید دارند.

با توجه به مطالب ذکر شده و اهمیت مقدار ترسیب کربن و رویش حجمی، هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی و مقایسه رویش و مقدار ترسیب کربن در زی‌توده هوایی (تنه) درختان گونه شالک (*Populus nigra*) در شش شهرستان استان آذربایجان غربی (میاندوآب، ارومیه، نقده، سلماس، شاهین‌دژ و خوی) بوده است. این پژوهش سعی دارد با استفاده از روش‌های میدانی و تحلیلی دقیق، مقدار واقعی کربن ذخیره شده در زی‌توده هوایی و همچنین مقدار رویش این گونه را در شهرستان‌های مختلف ارزیابی کند و نتایجی ارائه دهد که در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی منابع طبیعی کشور تصمیم‌پذیر بوده و کاربرد داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

برای این پژوهش، از پیمایش‌های میدانی در شهرستان‌های میاندوآب، شاهین‌دژ، نقده، ارومیه، سلماس و خوی به منظور شناسایی توده‌های تحت بررسی استفاده شد.

شیوه اجرای پژوهش

ابتدا در هر شهرستان، با استفاده از منابع و اطلاعات محلی و همچنین عملیات میدانی، مناطق

روش تحلیل

پس از جمع‌آوری داده‌ها و محاسبه فرمول‌های مدنظر با نرم‌افزار اکسل، برای تجزیه و تحلیل نهایی از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۷ استفاده شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. با توجه به نرمال بودن داده‌های مربوط به ترسیب کربن و رویش سالانه توده‌های صنوبر کاری شده، از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه برای مشخص شدن وجود یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها استفاده شد. بعد از مشخص شدن تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها برای پیدا کردن معنی‌داری اختلاف بین هر کدام از رویشگاه‌ها از نظر مقدار ترسیب کربن و رویش، از آزمون توکی استفاده شد.

نتایج

خصوصیات کمی درختان شامل قطر برابر سینه و ارتفاع اندازه‌گیری و در جدول ۱ نشان داده شده است. برای پی بردن به اختلاف میانگین مقدار ترسیب کربن تنه به تن در هکتار و رویش حجمی سالانه به متر مکعب در هکتار توده‌های صنوبر کاری شده شهرستان‌های مختلف، با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. نتایج این آزمون در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

با توجه به جدول ۲ مشخص می‌شود که در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین میانگین مقدار ترسیب کربن تنه در توده‌های صنوبر کاری موجود در شهرستان‌های مختلف تحت بررسی و همچنین بین میانگین مقدار رویش در توده‌های صنوبر کاری شده شش شهرستان در همان سطح اطمینان اختلاف معنی‌دار وجود دارد. سپس برای پی بردن به اینکه بین کدام یک از توده‌ها اختلاف وجود دارد از آزمون توکی استفاده شد. در جدول ۳ بررسی اختلاف بین مقدار ترسیب کربن تنه و رویش حجمی سالانه توده‌های صنوبر کاری شده در رویشگاه‌های شش شهرستان استان آذربایجان غربی نشان داده شده است.

شدند و بخش تنه (شامل چوب و پوست) از بقیه اندام‌ها مانند شاخه، برگ و ریشه جدا شد.

۲. اندازه‌گیری وزن تر تنه

بلافاصله پس از قطع، وزن تر تنه با استفاده از ترازوی دقیق اندازه‌گیری و ثبت شد.

۳. نمونه‌برداری برای تعیین وزن خشک

برای تعیین نسبت وزن خشک به تر، از تنه درختان با قطر بیش از ۲۰ سانتی‌متر، دیسک چوبی برداشت شد و دیسک‌ها به قطعات کوچک‌تر تقسیم و ابعاد قطعات با دقت اندازه‌گیری شدند.

۴. خشک کردن نمونه‌ها

نمونه‌های تهیه شده ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند تا به وزن خشک و ثابت برسند.

۵. محاسبه ضریب تبدیل وزن خشک

نسبت میانگین وزن خشک به وزن تر نمونه‌ها، ضریب تبدیل رطوبتی تنه در نظر گرفته شده و به صورت رابطه ۱ محاسبه شد:

$$\text{رابطه ۱} = \frac{\text{میانگین وزن خشک نمونه‌ها}}{\text{میانگین وزن تر نمونه‌ها}} = \text{ضریب وزن خشک}$$

۶. محاسبه زی توده خشک تنه

وزن تر کل تنه در ضریب وزن خشک ضرب شد تا زی توده خشک تنه به صورت رابطه ۲ به دست آید:

$$\text{رابطه ۲} = \text{ضریب وزن خشک} \times \text{وزن تر تنه} = \text{زی توده خشک تنه}$$

۷. محاسبه مقدار کربن ذخیره شده

با توجه به اینکه حدود ۵۰ درصد زی توده خشک تنه را کربن تشکیل می‌دهد، مقدار کربن ذخیره شده در تنه به صورت رابطه ۳ محاسبه شد:

$$\text{رابطه ۳} = \text{زی توده خشک تنه (کیلوگرم)} \times 0.5 = \text{ذخیره کربن تنه (کیلوگرم)}$$

برای محاسبه رویش حجمی سالانه نیز حجم دقیق هر درخت پس از اندازه‌گیری، بر تعداد سال‌های کاشت آن تقسیم شد.

نمایش بهتر و واضح‌تر معنی‌داری اختلاف، در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب از نظر میانگین مقدار ترسیب کربن و رویش رویشگاه‌های مختلف مقایسه شده‌اند.

در جدول ۳ توده‌های صنوبرکاری‌شده در شهرستان‌های مختلف که از نظر ترسیب کربن تنه و مقدار رویش سالانه با هم اختلاف معنی‌دار داشتند در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشخص شده است. برای

جدول ۱- میانگین خصوصیات کمی درختان بررسی شده

Table 1. Average quantitative characteristics of the studied trees

شهرستان County	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) Diameter (cm)	ارتفاع (متر) Height (m)
شاهین‌دژ Shahindezh	22.03	17.82
میاندوآب Myandoab	20.59	17.19
نقده Naqadeh	20.73	17.23
ارومیه Urmia	22.11	17.86
سلماس Salmas	21.17	17.34
خوی Khoy	21.62	17.39

جدول ۲- تجزیه واریانس مقدار ترسیب کربن تنه و رویش در توده‌های صنوبرکاری‌شده شهرستان‌های مختلف

Table 2. Analysis of variance of trunk carbon sequestration and growth increment in *Populus* plantations in different counties

متغیر Variable	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	F	Sig.
ترسیب کربن Carbon sequestration	بین گروه‌ها Between Groups	5	1.532	3.736	0.003**
	داخل گروه‌ها Within Groups	174	0.410		
	کل Total	179			
رویش Growth increment	بین گروه‌ها Between Groups	5	2.221	6.232	< 0.001**
	داخل گروه‌ها Within Groups	174	0.356		
	کل Total	179			

** Significant at the 99 percent confidence level

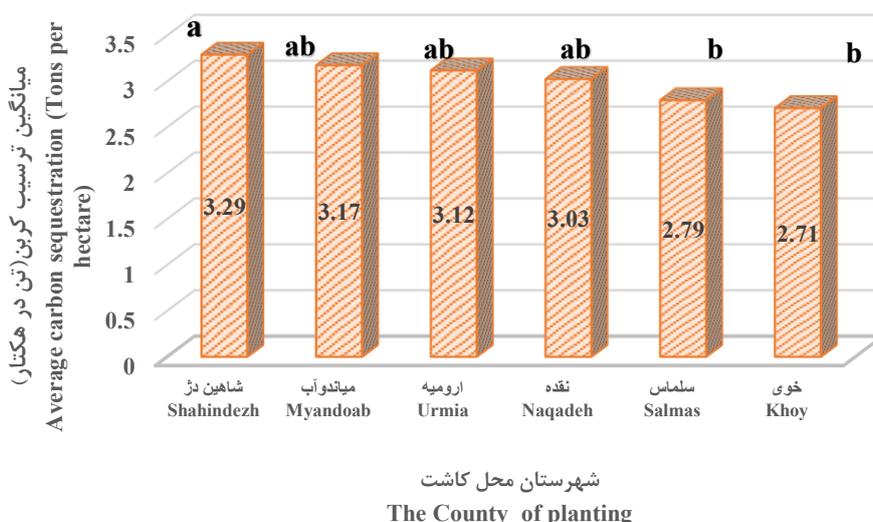
**معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

جدول ۳- بررسی اختلاف مقدار ترسیب کربن تنه و رویش سالیانه توده‌های صنوبرکاری شده شهرستان‌های مختلف
 Table 3. Investigating the difference in the amount of trunk carbon sequestration and annual growth increment of *Populus* plantations in different counties

آزمون توکی		ترسیب کربن		رویش	
Tukey Post Hoc Tests		Carbon sequestration		Growth increment	
I شهرستان	J شهرستان	اختلاف میانگین (I-J)	Sig.	اختلاف میانگین (I-J)	Sig.
County I	County J	Mean Difference (I-J)		Mean Difference (I-J)	
شاهین‌دژ Shahindezh	میاندوآب Myandoab	0.11633	0.981	0.58933*	0.002
	نقده Naqadeh	0.26567	0.595	0.53533*	0.008
	ارومیه Urmia	0.17267	0.902	-0.011	1
	سلماس Salmas	0.49667*	0.036	0.51667*	0.012
	خوی Khoy	0.583*	0.007	0.358	0.191
میاندوآب Myandoab	نقده Naqadeh	0.14933	0.945	-0.054	0.999
	ارومیه Urmia	0.05633	0.999	-0.60033*	0.002
	سلماس Salmas	0.38033	0.2	-0.07267	0.997
	خوی Khoy	0.46667	0.059	-0.23133	0.664
نقده Naqadeh	ارومیه Urmia	-0.093	0.993	-0.54633*	0.007
	سلماس Salmas	0.231	0.729	-0.01867	1
	خوی Khoy	0.31733	0.394	-0.17733	0.859
ارومیه Urmia	سلماس Salmas	0.324	0.37	0.52767*	0.01
	خوی Khoy	0.41033	0.135	0.369	0.164
سلماس Salmas	خوی Khoy	0.08633	0.995	-0.15867	0.908

* Significant at the 95 percent confidence level

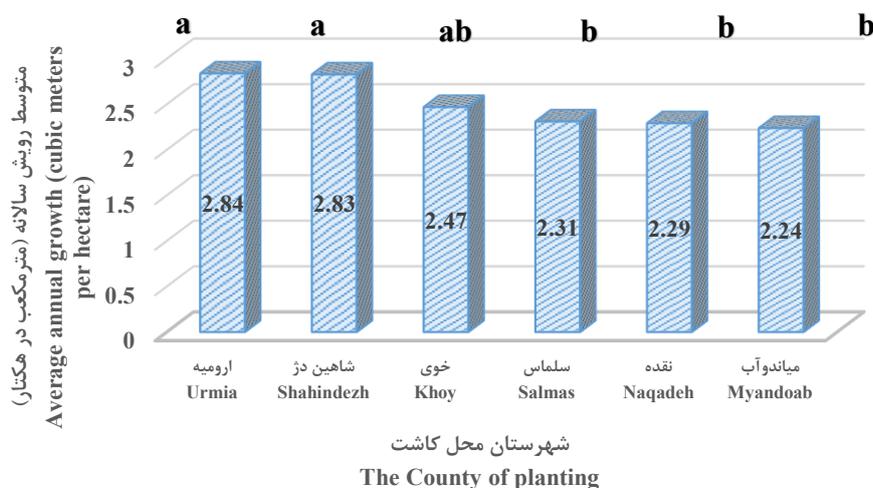
*معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد



شکل ۱- میانگین ترسیب کربن تنه و بررسی اختلاف آن در توده‌های صنوبرکاری‌شده
 Figure 1. The average trunk carbon sequestration and investigating its differences in *Populus* plantations
 Common letters indicate no significant difference

داشت. مقدار ترسیب کربن تنه در توده صنوبرکاری‌شده شهرستان شاهین‌دژ نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری با توده‌های شهرستان‌های سلماس و خوی داشت. شایان ذکر است که غیر از موارد عنوان‌شده در بقیه صنوبرکاری‌ها اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار ترسیب کربن تنه مشاهده نمی‌شود. در شکل ۲ نتایج میانگین رویش سالانه در توده‌ها مقایسه شده است.

براساس شکل ۱ توده صنوبرکاری‌شده موجود در شهرستان شاهین‌دژ با میانگین ۳/۲۹ تن در هکتار بیشتر مقدار ترسیب کربن تنه را داشته است. توده‌های موجود در شهرستان‌ها میاندوآب و ارومیه نیز به ترتیب با ۳/۱۷ و ۳/۱۲ تن در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار داشتند، همچنین صنوبرکاری موجود در شهرستان خوی با ۲/۷۱ تن در هکتار کمترین مقدار ترسیب کربن تنه را بین شهرستان‌های بررسی‌شده



شکل ۲- متوسط رویش سالانه و بررسی اختلاف آن در توده‌های صنوبرکاری‌شده
 Figure 2. Average annual growth increment and investigating its differences in *Populus* plantations
 Common letters indicate no significant difference

با توجه به شکل ۲ از نظر رویش نیز توده‌های موجود در ارومیه و شاهین‌دژ به ترتیب با ۲/۸۴ و ۲/۸۳ متر مکعب در هکتار بیشترین میانگین مقدار رویش را داشتند و توده صنوبرکاری‌شده شهرستان خوی با ۲/۴۷ در رتبه سوم بیشترین مقدار رویش قرار داشت. کمترین مقدار رویش مربوط به توده‌های شهرستان میاندوآب با میانگین ۲/۲۴ متر مکعب در هکتار در هر سال بود. همچنین بین توده‌های صنوبرکاری‌شده شهرستان‌های ارومیه و شاهین‌دژ با توده‌های سلماس، نرده و میاندوآب اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده شد. توده موجود در شهرستان خوی از نظر مقدار رویش با هیچ‌کدام از توده‌های شهرستان‌های دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت.

بحث

در پژوهش حاضر، مقدار ترسیب کربن تنه گونه شالک در شش شهرستان صنوبرخیز استان آذربایجان غربی بررسی شد. در بین توده‌های صنوبر کاشته‌شده در شهرستان‌های مختلف از نظر رویش حجمی و مقدار ترسیب کربن تنه در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. براساس نتایج این پژوهش، مقدار ترسیب کربن موجود در تنه درختان شالک در توده‌های مختلف بین ۲/۷۹ تا ۳/۲۹ تن در هکتار و مقدار رویش بین ۲/۲۴ تا ۲/۸۴ متر مکعب در هکتار متفاوت بود. (Bordbar (2020 در پژوهشی در یک توده چهل‌ساله بلوط، مقدار ترسیب را ۲۷/۸ تن اندازه‌گیری کرد (در هر سال جذب سالانه کربن ۰/۶۹۵ تن در هکتار بود) که با توجه به تفاوت نوع گونه با پژوهش حاضر، این اختلاف در مقدار ترسیب کربن، طبیعی به نظر می‌رسد. (Meifang et al. (2017 در پژوهشی در زمینه بررسی مقدار ترسیب کربن در تنه درختان صنوبر در چرخه‌های کوتاه‌مدت تولید، ترسیب کربن را ۳/۴۵ تن در هکتار محاسبه کردند که تا حد زیادی به نتایج این پژوهش نزدیک است. نتایج پژوهشی دیگر درباره مقدار ترسیب کربن در زی‌توده هوایی برخی

ارقام جنگلکاری‌شده صنوبر در باغ کشاورزی شهرستان خرم‌آباد نشان داد که رقم *P. nigra* 42.53 با ۲/۶۷۱۴ متر مکعب رویش و ترسیب سالانه ۲۴۶۰/۸ کیلوگرم (حدود ۲/۵ تن) کربن در هکتار بیشترین کارکرد را دارد (Jahanpour et al., 2019). نتایج پژوهش ذکرشده با یافته‌های این پژوهش درباره مقدار ترسیب کربن و رویش سالانه صنوبر نیگرا تا حد زیادی مطابقت دارد. در پژوهشی دیگر (Abedi et al. (2024 مقدار ترسیب کربن در تنه درختان صنوبر در نواحی جلگه‌ای استان گیلان را بررسی کردند و دریافتند که میانگین ترسیب کربن در تنه درختان بین ۱۶/۲۴ تا ۵۲ تن در هکتار متغیر است. اختلاف مقدار ترسیب کربن پژوهش مذکور با پژوهش حاضر را می‌توان به تفاوت اقلیم دو منطقه نسبت داد.

براساس نتایج پژوهش حاضر، علی‌رغم مشخص شدن تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین میانگین‌های توده‌های تحت بررسی از نظر مقدار ترسیب کربن و رویش، در ترسیب کربن فقط توده صنوبرکاری‌شده شهرستان شاهین‌دژ با دو توده در شهرستان‌های دیگر تفاوت معنی‌داری داشت و در زمینه مقدار رویش نیز تعداد توده‌هایی که با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند بیشتر از تعداد تفاوت‌های معنی‌دار بود. در پژوهش‌های گذشته نیز مقدار رویش و ترسیب کربن به‌خصوص در قسمت تنه درختان صنوبر اندازه‌گیری شد و عوامل مختلفی در مقدار کربن ذخیره‌شده دخیل دانسته شده بود. در پژوهشی در زمینه بررسی مقدار رویش و ترسیب کربن گونه صنوبر در فلات تبت بیان شد که دما و فاصله کشت یا تراکم عوامل اصلی تأثیرگذار است (Yao et al., 2023). درباره اهمیت دما در پژوهشی دیگر عنوان شد که افزایش دما می‌تواند نرخ فتوسنتز را تا آستانه بهینه افزایش دهد و سبب افزایش جذب کربن توسط درختان شود و همچنین می‌تواند فرایندهای میکروبی را در خاک تحریک کند و بر تجزیه مواد آلی و چرخه مواد مغذی تأثیر بگذارد که برای ترسیب کربن

عامل‌های اساسی در افزایش ترسیب کربن در چوب تأکید داشت. (Abedi et al., 2024) از ویژگی‌های فیزیکی خاک، بافت زمین و مقدار دسترسی به منابع آب را عوامل تأثیرگذار بر مقدار ترسیب در صنوبر کاری‌ها اعلام کردند. در مجموع، این پژوهش‌ها به خوبی نشان می‌دهند که عوامل متعددی از جمله تراکم کاشت، سن درختان، شرایط اقلیمی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و نیز شیوه‌های مدیریتی اعمال شده، از مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر مقدار ترسیب کربن در تنه درختان صنوبر و نرخ رویش حجمی آنها محسوب می‌شوند. این عوامل می‌توانند به تنهایی یا در تعامل با یکدیگر، پویایی رشد زی‌توده و مقدار جذب دی‌اکسید کربن را تحت تأثیر قرار دهند. در پژوهش حاضر، با توجه به آنکه توده‌های بررسی شده از لحاظ تراکم کاشت، سن درختان و شرایط اقلیمی منطقه تا حد زیادی مشابه بودند، در بیشتر موارد تفاوت‌های مشاهده شده در مقدار ترسیب کربن و رویش حجمی فاقد معنی‌داری آماری بودند. این همسانی ساختاری و محیطی موجب شده که عملکرد زی‌توده‌ای توده‌های صنوبر تا حد زیادی یکنواخت باشد. با این حال، تفاوت‌های اندک ولی معنی‌دار آماری در بین توده‌های موجود در شهرستان‌های مختلف، می‌تواند ناشی از تفاوت در مدیریت مزرعه‌ای (نظیر شیوه‌های آبیاری، تنک‌سازی، حفاظت در برابر آفات، کنترل علف‌های هرز، کود دهی یا برداشت) و در درجه دوم، تفاوت‌های احتمالی در کیفیت و عمق خاک یا مقدار مواد آلی آن باشد. از این رو، نقش مدیریت محلی و دانش بهره‌برداران در بهینه‌سازی عملکرد زیست‌محیطی و تولیدی در عرصه‌های صنوبر کاری، برجسته و شایان تأمل است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که گونه شالک در شرایط اقلیمی به نسبت مشابه در شش شهرستان استان آذربایجان غربی، از ظرفیت مطلوبی برای

ضروری است (Wang et al., 2022). ال. در پژوهش خود ذکر کردند که ارقام مختلف صنوبر در آب‌وهوای معتدل که در آن دما برای رشد مناسب است رشد می‌کند. دمای شدید، چه خیلی زیاد و چه خیلی کم، می‌تواند درختان را تحت فشار قرار دهد و بر رویش و قابلیت ترسیب کربن آنها تأثیر بگذارد.

نتایج پژوهش (Fang et al., 2007) نشان داد که تراکم کاشت یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر ظرفیت ترسیب کربن در تنه درختان صنوبر است، به طوری که افزایش تراکم تا حد بهینه سبب رشد سریع‌تر قطر تنه و افزایش زی‌توده چوبی می‌شود. یک پژوهش دیگر روی چوب *Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall نشان داد که تراکم‌های مختلف کاشت سبب تفاوت‌های زیادی در مقدار رویش سالیانه و ترسیب کربن زیاد زمین شده است. این پژوهش نشان داد که کاشت متراکم‌تر ($2/1 \times 0/8$ متر و $2/7 \times 1/8$ متر) سبب ترسیب کربن بیشتری می‌شود (Gardiner et al., 2024). نتایج پژوهش (Avirmed et al., 2023) در مناطق نیمه‌خشک، نشان داد که تراکم درخت و محتوای رطوبت خاک اثر مهمی در تولید زی‌توده و ترسیب کربن دارد و تراکم بیشتر درختان می‌تواند زی‌توده بالای زمین را افزایش دهد که برای جذب مؤثر کربن بسیار مهم است. عامل مهم دیگر که می‌تواند بر مقدار ترسیب و رشد توده‌های صنوبر کاری مهم باشد، سن توده است. تحقیقات نشان داد که ذخایر کربن و مقدار جذب CO₂ با افزایش سن درخت در توده‌های صنوبر کاری شده افزایش می‌یابد (Ma et al., 2020). در پژوهشی دیگر در صربستان، (Čomić, 2021) با بررسی صنوبر کاری‌های شمال این کشور گزارش کرد که مقدار ترسیب کربن در تنه درختان گونه *Populus x euramericana* در ایستگاه‌های بررسی شده به طور متوسط ۳۵ تا ۵۵ تن در هکتار بوده است. این تحقیق بر تأثیر سن درخت و مدیریت مزرعه‌ای مانند هرس و تیمار خاک به عنوان

شاهین دژ و ارومیه که توان بیشتری در ترسیب کربن و رویش دارند، طرح‌های توسعه صنوبر کاری را در اولویت قرار دهند. همچنین برای ارتقای عملکرد در مناطقی با کارایی کمتر مانند خوی و میان‌دوآب، پژوهش‌های تکمیلی درباره کیفیت خاک، مدیریت آبیاری و تغذیه و به‌کارگیری اقدامات اصلاحی ضروری است.

در سطح کلان، پیشنهاد می‌شود ظرفیت صنوبر کاری به‌عنوان ابزار مکمل در سیاست‌های جذب کربن، احیای اراضی حاشیه‌ای و افزایش تولید چوب در مناطق نیمه‌خشک شمال غرب کشور مدنظر قرار گیرد. تدوین دستورالعمل‌های منطقه‌محور براساس داده‌های میدانی همچون این پژوهش، می‌تواند زمینه‌ساز افزایش بهره‌وری زیست‌محیطی و اقتصادی در طرح‌های صنوبر کاری کشور باشد.

ترسیب کربن و رشد سالانه برخوردار است؛ هرچند اختلافاتی از نظر عملکرد بین شهرستان‌ها مشاهده شد. بیشترین مقدار ترسیب کربن در شهرستان شاهین دژ با میانگین ۳/۲۹ تن در هکتار و بیشترین مقدار رویش در شهرستان ارومیه با میانگین ۲/۸۴ متر مکعب در هکتار ثبت شد، درحالی که کمترین مقدار ترسیب کربن و رویش به‌ترتیب در شهرستان‌های خوی و میان‌دوآب مشاهده شد.

این یافته‌ها نشان می‌دهند که صنوبر کاری، به‌ویژه با گونه تندرشد شالک، می‌تواند راهبردی مؤثر در جذب دی‌اکسید کربن و بهبود بهره‌وری زی‌توده هوایی در چارچوب برنامه‌های مقابله با تغییر اقلیم و تقویت ذخایر کربن نواحی معتدل باشد. در این زمینه توصیه می‌شود سیاستگذاران با تمرکز بر مناطقی چون

References

- Abbasi, H., Khaksarian, F., Bagheri, R., Salehi, A., & Asadi, F. (2024). Land suitability evaluation for poplar plantation. *Iranian Journal of Forest*, 16(1), 87-101. doi: 10.22034/ijf.2023.351291.1880. (In Persian)
- Abedi, T., Abedi, R., & Modaberi, H. (2024). Investigation of Above-ground and soil carbon sequestration in poplar plantations in Guilan province. *Applied Biology*, 36(4), 70-79. <https://doi.org/10.22051/jab.2024.39728.1477>. (In Persian)
- Abedi, T., Mohammadi Limaie, S., Bonyad, A.E., & Torkaman, J. (2022). Determination of Net Present Value of Carbon Sequestration in *Populus deltoides* Plantation. *Environmental Researches*, 12(24), 269-279. <https://doi.org/20.1001.1.20089597.1400.12.24.20.2>. (In Persian)
- Adams, A.B., Pontius, J., Galford, G., Merrill, S.C., & Gudex-Cross, D. (2018). Modeling carbon storage across a heterogeneous mixed temperate forest: the influence of forest type specificity on regional-scale carbon storage estimates. *Landscape Ecology*, 33, 641-658. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0625-0>
- Alavi, J., Rajabimazhar, A., Farashiani, M., Yahouian, H., Bozorgmehr, A., & Hamidi, E. (2025). Introducing of the most important poplar (*Populus nigra L.*) pests in North Khorasan province, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 32(4), 307-324. doi: 10.22092/ijfpr.2024.365041.2150. (In Persian)
- Arora, G., Chaturvedi, S., Kaushal, R., Nain, A., Tewari, S., Alam, N.M., & Chaturvedi, O.P. (2014). Growth, biomass, carbon stocks, and sequestration in an age series of *Populus deltoides* plantations in Tarai region of central Himalaya. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(4), 550-560. Doi: 10.3906/tar-1307-94
- Assmuth, A., & Tahvonen, O. (2018). Optimal carbon storage in even-and uneven-aged forestry. *Forest Policy and Economics*, 87, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.09.004>
- Avirmed, T., Byambadorj, S.O., Chiantante, D., Sharavdorj, K., Ganbat, B., Sukhbaatar, G., & Nyam-Osor, B. (2023). Afforestation of semi-arid regions of Mongolia: carbon sequestration in trees and increase of soil organic carbon. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 157(4), 779-791. <https://doi.org/10.1080/11263504.2023.2200781>

- Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Killeen, T.J., Laurance, S.G., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Lloyd, J., Monteagudo, A., Neill, D.A., Patio, S., Pitman, N.C.A., Silva, J.N.M., & Martnez, R.V. (2004). Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian Forest biomass. *Global Change Biology*, 10: 545–562. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00751.x>
- Bordbar, S.K. (2020). Estimation of carbon sequestration potential oak coppice stand (*Quercus brantii*) in kamfirooz (Fars province). *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 7(15) :141-154. <http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-401-fa.html>. (In Persian)
- Chavan, S.B., Dhillon, R.S., Sirohi, C., Uthappa, A.R., Jinger, D., Jatav, H.S., & Rajput, V.D. (2023). Carbon sequestration potential of commercial agroforestry systems in Indo-Gangetic Plains of India: Poplar and eucalyptus-based agroforestry systems. *Forests*, 14(3), 559. <https://doi.org/10.3390/f14030559>
- Čomić, D.R. (2021). Regression models of carbon and CO₂ sequestration of hybrid poplar plantations in northern Serbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(12), 1859-1874. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0360>
- Di Matteo, G., Sperandio, G., & Verani, S. (2012). Field performance of poplar for bioenergy in southern Europe after two coppicing rotations: effects of clone and planting density. *Forest*, 5, 224-229. <https://doi.org/10.3832/for0628-005>
- Imbert, E., & Lefèvre, F. (2003). Dispersal and gene flow of *Populus nigra* (Salicaceae) along a dynamic river system. *Journal of Ecology*, 91(3), 447-456.
- Elbasiouny, H., El-Ramady, H., Elbehiry, F., Rajput, V.D., Minkina, T., & Mandzhieva, S. (2022). Plant nutrition under climate change and soil carbon sequestration. *Sustainability*, 14(2), 914. <https://doi.org/10.3390/su14020914>
- Fang, S., Xue, J., & Tang, L. (2007). Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. *Journal of environmental management*, 85(3), 672-679. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.09.014>
- Fortier, J., Truax, B., Gagnon, D., & Lambert, F. (2017). Linking biomass productivity to genotype-specific nutrient cycling strategies in mature hybrid poplars planted along an environmental gradient. *Bioenergy Research*, 10, 876-890. <https://doi.org/10.1007/s12155-017-9850-7>
- Gardiner, E.S., Poudel, K.P., Leininger, T.D., Souter, R.A., Rousseau, R.J., & Dahal, B. (2024). Early dynamics of carbon accumulation as influenced by spacing of a populus deltoides planting. *Forests*, 15(2), 226. <https://doi.org/10.3390/f15020226>
- Henry, M., Besnard, A., Asante, W., A. Eshun, J., Adu Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M., Huang, C.H., & Kronrad, G.D. (2001). The cost of sequestration carbon on private forest lands. *Forest Policy and Economics*, 2, 133-142. [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(01\)00046-6](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(01)00046-6)
- Hosein zadeh, O. (2015). Analysis of Poplar process value chain in Western Azerbaijan province aims to upgrading. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 6(1), 41-52. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089066.1394.6.1.4.3> (In Persian)
- Jahanpour, F., Badehian, Z., & soosani, J. (2019). Investigating the efficiency of the carbon sequestration in above-ground biomass of some populous clones. *Iranian Journal of Forest*, 11(2), 195-205. http://www.ijf-iseforestry.ir/article_93390_b0a3dceb026b5bfacd9b4f291a3fbddc.pdf (In Persian)
- Latify, R., Alijanpour, A., Shafiei, A.B., & Sadeghi, A. (2018). Effects of planting interval and soil type on volume production and slenderness index of poplar (*Populus nigra* L.) plantations in Diwandareh region (Kurdistan province, western Iran). DOI: 10.17221/113/2016-JFS
- Ma, S.H., Eziz, A., Tian, D., Yan, Z.B., Cai, Q., Jiang, M.W., Su, X.L., Zhu, S.D., Wang, X., Xu, X.L., Xu, M., & Fang, J.Y. (2020). Size- and age-dependent increases in tree stem carbon

concentration: implications for forest carbon stock estimations. *Journal of Plant Ecology*, 13(2), 233-240. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtaa005>

Meifang, Y., Lu, W., Honghui, R., & Xinshi, Z. (2017). Biomass production and carbon sequestration of a short-rotation forest with different poplar clones in northwest China. *Science of the Total Environment*, 586, 1135-1140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.103>

Mirakhorlou, Kh. (2020). Survey and distribution and areas of *Populus* sp. plantations in the country using Sentinel-2 satellite data. Final Research Report, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran. (In Persian).

Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Price, D.T., Apps, M.J., Cienciel, A.D., Davis, P., Farrell, E.P., Harmon, M.E., Heath, L.S., Karjalainen, T.A., Kheshgi, S.H., Makundi, J., Marland, G. H., McGuire, A.D., Nepal, S., Pedroni, L., Raudina, V., Richards, J.F., Somogyi, Z., Tatarinov, F., Tchebakova, N.M., Toni, P., & Vierling, L. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>

Rescalvo, F.J., Timbolmas, C., Bravo, R., Valverde-Palacios, I., & Gallego, A. (2021). Improving ductility and bending features of poplar glued laminated beams by means of embedded carbon material. *Construction and Building Materials*, 304, 124469. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124469>

Salehi, A., & Shariat, A. (2024). Comparative performance of *Populus* spp. and *Salix* spp. for growth, nutrition, and heavy metal uptake in a wastewater hydroponic system. *International Journal of Phytoremediation*, 26(9), 1369-1378. <https://doi.org/10.1080/15226514.2024.2321597>

Sperandio, G., Acampora, A., Del Giudice, A., & Civitarese, V. (2021). Models for the evaluation of productivity and costs of mechanized felling on poplar short rotation coppice in Italy. *Forests*, 12(7), 954. <https://doi.org/10.3390/f12070954>

Toillon, J., Huc, R., Strijk, J.H., & Dreyer, E. (2013). Effect of planting density on growth and water-use efficiency of hybrid poplar: an integrated analysis from leaf to stand scale in a 5-year-old plantation International Poplar Symposium VI (IPS VI), Vancouver, Canada.

Vahedi, A.A., & Mattagi, A.A. (2014). Amount of carbon sequestration distribution associated with oak tree's (*Quercus castaneifolia* C.A. May) bole in relation to physiological units of Hyrcanian natural forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(4). <https://doi.org/10.22092/ijfpr.2014.5144>. (In Persian)

Wang, Y., Xiao, J., Ma, Y., Ding, J., Chen, X., Ding, Z., & Luo, Y. (2023). Persistent and enhanced carbon sequestration capacity of alpine grasslands on Earth's Third Pole. *Science Advances*, 9(20), eade6875. <https://doi.org/10.1126/sciadv.ade6875>

Yao, Y., Shu, S., Wang, W., Liu, R., Wang, Y., Wang, X., & Zhang, S. (2023). Growth and carbon sequestration of poplar plantations on the Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 147, 109930. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109930>

Yousefi, B., & Kalagari, M. (2021). Survey of qualitative and quantitative characteristics of local *Populus* spp. trees (Case study: Kurdistan province). *Iranian Journal of Forest*, 13(3), 333-348. doi: 10.22034/ijf.2021.250147.1741. (In Persian)

Zhu, Q.L., Liu, H.K., Chen, X., Dong, Y.F., & Wang, Y.P. (2019). Archaeal community succession with fine root growth in poplar plantation. *Ying Yong Sheng tai xue bao. The Journal of Applied Ecology*, 30(3), 849-856. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201903.034>



Assessment of trunk carbon sequestration and growth increment of black poplar (*Populus nigra* L.) in West Azerbaijan Province

M. Pato^{1*}, P. Hamed Qhazi², and S. Moradi³

¹Research Assistant Prof., Dept. of Forestry and Rangeland Research, Center for Research and Education of Agriculture and Natural Resources of West Azerbaijan Province, Organization of Research, Education and Extension of Agriculture, Urmia, Iran

²Ph.D. of forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran

³Assistant Prof., Dept. of Agricultural & Natural Resources Development, Faculty of Engineering, Payame Noor University, Tehran, I.R. Iran

(Received: 6 July 2024; Accepted: 1 June 2025)

Abstract

Introduction: Forest ecosystems play an important role in the global carbon cycle. Carbon dioxide is absorbed by vegetation during the growing season and stored in plants as biomass. Trees are one of the most important and largest carbon reservoirs in natural ecosystems and are very effective in reducing atmospheric carbon emissions. Determining the amount of tree biomass is very important in the sustainable management of natural resources and also determines the contribution of forests and afforestation to the global carbon cycle. The present study attempted to investigate the amount of trunk carbon sequestration and annual volumetric growth in poplar plantations in six counties of West Azerbaijan Province.

Materials and methods: This study was conducted in six poplar-growing counties of West Azerbaijan Province, including Urmia, Miandoab, Shahindej, Naqadeh, Khoy, and Salmas, which are appropriate for wood cultivation. Poplar stands with planting density (1×2) and approximately the same age (8 to 10 years) were selected in the study areas and the quantitative variables of diameter at breast height and total height of nine trees were measured in groups in the beginning, middle and end parts (27 trees in each stand and a total of 162 trees) and the volume of a single tree was calculated in cubic meters. Then, in each county, from each stand at the time of felling, 6-disc samples from trees with a diameter of 20 cm and above were selected for testing and examination. The prepared and separated discs were cut into cubic pieces with dimensions of 3×3×3 cm. For drying, the samples were placed in an oven at 105 °C for 24 hours and their dry weight was calculated, then the samples were placed in a furnace at 400° C and the resulting ash was reweighed. Annual volumetric growth was also obtained by accurately calculating the volume and dividing it by the number of planting years.

Results: The results indicated that the treated *Populus* mass in Shahindej had the highest carbon sequestration rate, with an average of 3.29 tons per hectare. In terms of growth, the stands in Urmia and Shahindej showed the highest average growth rates, at 2.84 and 2.83 cubic meters per hectare, respectively. One-Way ANOVA analysis test showed that there is a significant difference between the average amount of carbon sequestration and growth in *Populus* stands in different cities under investigation at the 99% confidence level. The comparison of the stands of different cities based on Tukey's test also showed that there is a significant difference between Shahindej stand and Selmas and Khoy stands at the 95% confidence level in terms of carbon sequestration. In relation to the rate of growth, a significant difference was observed at the 95% confidence level between the *Populus* plantations of Urmia and Shahindej counties with the Salmas, Naqdeh and Miandoab stands.

Conclusion: Due to the similar planting density, the same age of the plantations, and the relatively similar climate in the plantations investigated in the study, no significant difference was observed in terms of the amount of trunk carbon sequestration and volumetric growth in most plantations. The small significant difference observed could also be due to the management method and, to some extent, soil conditions. In this regard, it is recommended that policymakers prioritize poplar development plans by focusing on areas such as Shahindej and Urmia that have a higher potential for trunk carbon sequestration and growth increment.

Keywords: Carbon sequestration, Growth increment rate, *Populus* plantations, Urmia.